CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE LA COLECCIÓN NÚCLEO DE LA FORMA CULTIVADA DE FRIJOL COMÚN DEL INIFAP

MORPHOAGRONOMIC CHARACTERIZATION OF THE INIFAP CORE COLLECTION OF THE CULTIVATED FORM OF COMMON BEAN

M. Luisa P. **Vargas-Vázquez**[1], José S. **Muruaga-Martínez**[1], Patricia **Pérez-Herrera**[1], Homar R. **Gill-Langarica**[2], Gilberto **Esquivel-Esquivel**[1], Miguel Á. **Martínez-Damián**[3], Rigoberto **Rosales-Serna**[1] y Netzahualcoyotl **Mayek-Pérez**[2*]

[1]INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Km. 18.5 Carretera Los Reyes-Lechería. 56230. Chapingo, México. [2]Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. Apdo. Postal 152, 88730. Reynosa, Tamaulipas, México. (nmayek@ipn.mx). [3]Socioeconomía. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

Resumen

La caracterización de los recursos fitogenéticos es una herramienta útil para su conservación y aprovechamiento en el mejoramiento genético. Las 200 accesiones de la colección núcleo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México y que representan la variabilidad de la especie en el país fueron analizadas con base en 45 características relativas a datos de pasaporte, fenología y morfología de la planta, componentes de rendimiento, calidad de la semilla y reacción a enfermedades en Santa Lucía de Prías, México, en el 2003. Las características morfológicas de la planta relacionadas principalmente con la flor, hábito de crecimiento y semilla mostraron mayor capacidad discriminante y permitieron agrupar a las 124 accesiones que completaron su ciclo biológico con base en su origen geográfico y su hábito de crecimiento, principalmente. Algunas accesiones originarias del trópico de México mostraron precocidad y tolerancia a enfermedades. Los resultados resaltan la variabilidad genética significativa de la especie que está incluida en la colección núcleo del INIFAP, por lo cual se considera representativa de la forma cultivada de *P. vulgaris* en México.

Palabras clave*:* *Phaseolus vulgaris* L., germoplasma de frijol, recursos genéticos, variación morfoagronómica.

Abstract

The characterization of phytogenetic resources is a useful tool for their conservation and exploitation in genetic improvement. The 200 accessions of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) core collection of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) of México, which represent the variability of species in our country, were analyzed based on 45 characteristics related to passport data, plant phenology and morphology, yield components, seed quality, and reaction to diseases, in Santa Lucía de Prías, México, in 2003. The morphological plant characteristics mainly related to flower, growth habit, and seed showed higher discriminating capacity and allowed the grouping of the 124 accessions, which completed their biologic cycle based mainly on their geographical origin and their growth habit. Some accessions originating from Mexican tropic presented precociousness and disease tolerance. The results highlight significant genetic variability of the species included in the INIFAP core collection; therefore, it is considered representative of the cultivated form of *P. vulgaris* in México.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., bean germ plasm, genetic resources, morphoagronomic variation.

Introducción

Mesoamérica es una de las principales regiones de origen del frijol (*Phaseolus* spp.) y México, uno de los centros de origen y domesticación de *P. vulgaris* (frijol común), tiene abundante variabilidad genética en frijol común silvestre y cultivado, con tres razas del acervo Mesoamericano (Durango, Jalisco, Mesoamérica) y una del Andino (Nueva Granada) (Singh *et al.*, 1991; Rosales-Serna *et*

* Autor responsable ❖ Author for correspondence.
Recibido: Octubre, 2007. Aprobado: Agosto, 2008.
Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 42: 787-797. 2008.

Introduction

Middle America is one of the principal regions of bean (*Phaseolus* spp.) origin, and México, one of the centers of origin and domestication of *P. vulgaris* (common bean), has abundant genetic variability in wild and cultivated common bean with three races of Middle American heritage (Durango, Jalisco, Middle America) and one of Andean heritage (Nueva Granada) (Singh *et al.*, 1991; Rosales-Serna *et al.*, 2005). Thus, México is a natural laboratory for increasing and complementing the knowledge of *Phaseolus* conservation systems *in situ* and *ex situ*. The classical methods to characterize, evaluate, and utilize genetic variability apply morphological (Voysest, 2000; Rosales-Serna *et al.*, 2003) and agronomic

al., 2005). Así, México es un laboratorio natural para ampliar y complementar el conocimiento de los sistemas de conservación *in situ* y *ex situ* de *Phaseolus*. Los métodos clásicos para caracterizar, evaluar y utilizar la variabilidad genética aplican descriptores morfológicos (Voysest, 2000; Rosales-Serna *et al.*, 2003) y agronómicos (Rosales-Serna *et al.*, 2003; 2005), así como marcadores bioquímicos y moleculares (Rosales-Serna *et al.*, 2003; 2005; González *et al.*, 2005).

La variabilidad genética desarrollada en las formas silvestres y cultivadas de *Phaseolus* así como la recombinación entre genotipos locales e introducidos han ampliado la base genética del frijol común, y han ocasionado que los estudios de diversidad genética en germoplasma élite muestren separaciones poco claras entre tipos y, en ocasiones, discrepancias con el concepto de razas genéticas (Singh *et al.*, 1991; Rosales-Serna *et al.*, 2005). Además, el manejo de grandes colecciones de germoplasma es difícil por la falta de financiamiento, lo que limita su conservación, caracterización y aprovechamiento. Por ello, en algunas especies vegetales se ha propuesto el desarrollo de colecciones núcleo como alternativa de bajo costo (Frankel y Brown, 1984) para facilitar la conservación y manejo de la diversidad genética existente en colecciones de germoplasma abundante. La colección núcleo es una muestra que representa la variabilidad genética con un mínimo de duplicidades, en tanto que las accesiones no incluidas son una colección de reserva. Van Hintum *et al.* (2003) mencionan cuatro razones principales para generar una colección núcleo: espacio restringido de almacenamiento, desconocimiento de la estructura de la diversidad genética, necesidad de cubrir faltantes sin incurrir en duplicidades y ausencia de bases de datos que faciliten la selección objetiva del germoplasma apropiado para mejorar una característica en particular en una especie dada.

En México, el Banco de Germoplasma de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, Estado de México, resguarda 7,846 accesiones de la forma cultivada de frijol común que se recolectaron o introdujeron los últimos 65 años y que representan la variabilidad genética de *P. vulgaris* cultivado procedente de México y otros países (Cárdenas *et al.*, 1996; Vargas *et al.*, 2006). En 6,284 accesiones mexicanas del Banco del INIFAP se evaluaron 37 descriptores para identificar las más representativas de dicha variabilidad genética; luego se seleccionaron 200 accesiones que forman la colección núcleo del frijol común, que se espera optimice el uso del germoplasma de la forma cultivada de *P. vulgaris* en el mejoramiento genético del frijol en México y facilite el conocimiento de la diversidad, así como el monitoreo y conservación

descriptors (Rosales-Serna *et al.,* 2003; 2005), as well as biochemical and molecular markers (Rosales-Serna *et al.,* 2003; 2005; González *et al.,* 2005).

Developed genetic variability in wild and cultivated forms of *Phaseolus* as well as recombination among local and introduced genotypes have extended the genetic base of common bean and caused the studies of genetic diversity in germ plasm elite to show the not very clear separations among types and, occasionally, discrepancies in the concept of genetic races (Singh *et al.,* 1991; Rosales-Serna *et al.,* 2005). Besides, the management of large germ plasm collections is difficult because of the lack of financing, which limits their conservation, characterization, and exploitation. Therefore, in some vegetal species, the development of core collections as low-cost alternative (Frankel and Brown, 1984) has been proposed to facilitate conservation and management of genetic diversity existing in collections of abundant germ plasm. The core collection is a sample, representing genetic variability with a minimum of duplicities, insofar as the non-included accessions are a reserve collection. Van Hintum *et al.* (2003) mention four main reasons for generating a core collection: restricted storage room, ignorance of the structure of genetic diversity, need of covering shortage without falling in duplicities, and lack of data bases which facilitate the objective selection of appropriate germ plasm to improve particularly one characteristic in a given species.

In México, the Bean Germ Plasm Bank of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarios (INIFAP), located at Chapingo, State of México, reserves 7846 accessions of the cultivated form of common bean, which were harvested or introduced in the last 65 years and represent the genetic variability of cultivated *P. vulgaris* from México and other countries (Cárdenas *et al.,* 1996; Vargas *et al.,* 2006). In 6,284 Mexican accessions of the INIFAP Bank, 37 descriptors were assessed in order to identify the most representative of such genetic variability; then, 200 accessions were selected, which form the core collection of common bean and are expected to optimize the use of the cultivated form of *P. vulgaris* germ plasm in bean genetic improvement in México and to facilitate the knowledge of diversity as well as monitoring and conservation of seed *ex situ,* in order to guarantee its availability for Mexican users and users from abroad (Vargas *et al.*, 2006). The evaluation of the 6284 accessions allowed identifying potential sources of resistance to anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), drought, and high temperatures during the reproductive stage (Cárdenas, 1989, Acosta *et al.,* 1996). Therefore, the objective of the present study was to characterize the 200 accessions of the core

de la semilla *ex situ*, para asegurar su disponibilidad a usuarios mexicanos y del extranjero (Vargas *et al.*, 2006). La evaluación de las 6284 accesiones permitió identificar potenciales fuentes de resistencia a la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), sequía y altas temperaturas durante la fase reproductiva (Cárdenas, 1989; Acosta *et al.,* 1996). Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar las 200 accesiones de la colección núcleo de la forma cultivada del frijol común perteneciente al INIFAP con base en caracteres morfológicos, fenológicos y de calidad de grano, y determinar si dicho germoplasma representa la diversidad de la forma cultivada originaria de México.

Materiales y Métodos

Material genético

En Santa Lucía de Prías, México (19° 17' N, 98° 54' O, 2240 m de altitud) las 200 accesiones de la colección núcleo de frijol común del INIFAP fueron sembradas el 19 de mayo de 2003. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental fue un surco de 3 m de largo, separado por un surco libre entre accesiones. Del germoplasma 61% proviene de altitudes entre 1500 y 2000 m; los colores de la testa de la semilla más frecuentes son crema (27%) y amarillo (21%); el hábito de crecimiento más frecuente es el Tipo II y los Estados con mayor número de accesiones son Aguascalientes (23), Jalisco (22), Chiapas (21), Puebla (16) y Zacatecas (14) (Vargas *et al.*, 2006).

Variables

Las 45 características evaluadas en cada accesión se clasificaron en seis categorías: 1) datos de pasaporte (Cárdenas *et al.*, 1996); 2) variables fenológicas; 3) arquitectura de planta y componentes del rendimiento (IBPGR, 1982); 4) color de la semilla seca recién cosechada (CIAT, 1987); 5) calidad de la semilla (Elías *et al.*, 1986); 6) reacción a enfermedades entre las que destacaron por su incidencia y severidad de daños en el sitio de prueba: antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), tizón de halo (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*), tizón común (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*), moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*) y mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*). La evaluación de daños fue realizada durante la fase reproductiva (floración de cada accesión) y de acuerdo con la escala del CIAT (1987): nueve grados de daño (1 a 9), donde 1 = sin síntomas visibles y 9 = más del 75% del follaje de la planta con síntomas de la enfermedad. Los valores de 1 a 3, 4 a 6 y 7 a 9 se clasifican como reacciones de resistencia, intermedia y susceptibilidad al patógeno.

Análisis estadístico

De las 200 accesiones inicialmente sembradas en campo, 124 completaron su ciclo biológico y en ellas se midieron todas las

collection of the cultivated form of common bean belonging to the INIFAP, based on morphological and phenological characteristics and grain quality, and to determine if said germ plasm represents the diversity of the cultivated form from México.

Materials and Methods

Genetic Material

In Santa Lucía de Prías, México (19° 17' N, 98° 54' W, at 2240 m of altitude) the 200 accessions of the common bean core collection from INIFAP were sown on May 19th, 2003. The experimental design was of randomized complete blocks with three replications; the experimental unit was a 3m-long furrow, the accessions being separated from each other by one free furrow. Sixty-one percent of the germ plasm comes from altitudes between 1500 and 2000 m; the most frequent colors of seed testa are cream (27%) and yellow (21%); the most frequent growth habit is Type II and the States with the largest number of accessions are Aguascalientes (23), Jalisco (22), Chiapas (21), Puebla (16), and Zacatecas (14) (Vargas *et al.*, 2006).

Variables

The 45 characteristics assessed in each accession were classified in six categories: 1) passport data (Cárdenas *et al.*, 1996); 2) phenologic variables, 3) plant architecture and yield components (IBPGR, 1982); 4) color of recently harvested dry seed (CIAT, 1987); 5) seed quality (Elías *et al.,* 1986); 6) reaction to diseases, among which the following were outstanding by incidence and damage severity at the test site: anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), rust (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), halo blight (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*), common blight (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*), white mould (*Sclerotinia sclerotiorum*), and angular leaf spot (*Phaeoisariopsis griseola*). Damage evaluation was conducted during the reproductive stage (flowering of each accession) and according to the CIAT scale (1987): nine damage degrees (1 to 9), where 1 = without visible symptoms, and 9 = more than 75% of the plant foliage with symptoms of the disease. The values from 1 to 3, 4 to 6, and 7 to 9 are classified as reactions of resistance, intermediate, and susceptibility to the pathogen.

Statistical analysis

One hundred and twenty-four accessions out of the 200 initially sown under field conditions, completed their biological cycle, and all their variables were measured. In these accessions, the descriptive statistics of each variable were calculated, and an analysis of the principal components was made (ACP) in order to select the most important and distinguishing variables (Rojas, 2003). Thus, 13 variables were selected and later used in a second ACP, which allowed to determine the dispersion of the germ plasm based on the growth habit of each accession. The 13 variables selected in the first ACP

variables. En estas accesiones se calcularon los estadísticos descriptivos de cada variable y se efectuó el análisis de componentes principales (ACP) para seleccionar las variables más importantes y discriminantes (Rojas, 2003). Así, fueron seleccionadas 13 variables y luego usadas en un segundo ACP que permitió determinar la dispersión del germoplasma con base en el hábito de crecimiento de cada accesión. Las 13 variables seleccionadas en el primer ACP fueron usadas para el análisis de conglomerados con base en la estimación de las distancias Euclidianas y el algoritmo de agrupamiento por medias aritméticas no ponderadas (UPGMA) (Hair *et al.*, 1992), Para definir el agrupamiento de accesiones según su origen fue usado el paquete estadístico InfoStat (Balzarini *et al.*, 2004).

Resultados y Discusión

El patrón de distribución geográfica de las 200 accesiones reflejó la adaptación agroclimática del género *Phaseolus* y las preferencias de los agricultores durante el proceso de domesticación del frijol en México. Los coeficientes de variación (CV) fueron mayores a 13% en la mayoría de las características cuantitativas; el número de semillas por planta presentó el mayor CV (101%) (Cuadro 1). El 27% del germoplasma de la colección núcleo muestra semillas de color crema-

were used for analysis of conglomerates based on the estimate of Euclidean distances and group algorithm by non-adjusted arithmetic means (UPGMA) (Hair *et al.*, 1992), in order to define the grouping of accessions according to their origin. For the statistical analysis the statistical InfoStat package was used (Balzarini *et al.*, 2004).

Results and Discussion

The geographic distribution pattern of the 200 accessions reflected the agroclimatic adaptation of genus *Phaseolus* and farmers' preferences during the bean domestication process in México. The variation coefficients (CV) were higher than 13% in most of the quantitative characteristics; the number of seeds per plant had the highest CV (101%) (Table 1). Twenty-seven percent of the core collection germ plasm have seeds of cream-beige color (which include the commercial classes bayo and azufrado) and 21% of the grains are yellow-colored (commercial classes: garbancillo, canario, mostaza). The selection of seed color, besides its brightness, size, and form, has been one of the main evolutionary factors, responsible for maintenance and increase of the genetic variation in this species (Gepts and Debouck, 1991). The

Cuadro 1. Estadísticas básicas de las variables cuantitativas de la colección núcleo de frijol común. Santa Lucía de Prías, Texcoco, México 2003.
Table 1. Basic statistics of the quantitative variables of common bean core collection. Santa Lucía de Prías, Texcoco, México, 2003.

Variable	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
Días a emergencia	7	13	1.8	19
Días a botón floral	35	104	11.7	22
Días a floración	44	108	11.7	20
Días a madurez	88	168	17.6	14
Largo de hoja (cm)	7	15	1.3	13
Longitud de vaina (cm)	8	15	1.4	13
Ancho de hoja (cm)	5	12	1.1	14
Vainas por planta	4	219	26.6	70
Semillas por planta	10	1134	115.2	101
Ramas por planta	3	12	1.4	24
Nudos por planta	9	245	58.6	71
Altura de planta (cm)	26	315	32.6	36
Peso seco de raíz (g)	4	84	15.1	59
Peso seco del vástago (g)	13	453	49.3	44
Peso de 100 granos (g)	13	55	9.9	31
Volumen de 100 semillas (mL)	10	44	8.5	33
Absorción de agua (mL)	6	155	31.4	49
Tiempo de cocción (min)	64	357	46.1	35
Reacción a antracnosis[†]	1	8	1.8	79
Reacción a roya	1	3	0.4	31
Reacción a tizón de halo	1	8	1.5	74
Reacción a tizón común	1	8	1.0	46
Reacción a moho blanco	1	4	1.0	52
Reacción a mancha angular	1	3	0.4	36

[†] De acuerdo con la escala del CIAT (1987), donde 1 = sin síntomas visibles y 9 = más del 75% del follaje de la planta con síntomas de la enfermedad. Los valores de 1 a 3, 4 a 6 y 7 a 9 se clasifican como reacciones de resistencia, intermedia y susceptibilidad al patógeno ❖ According to CIAT scale (1987), where 1 = without visible symptoms, and 9 = more than 75% of the plant foliage with symptoms of the disease. The values of 1 to 3, 4 to 6, and 7 to 9 are classified as resistance reactions, intermediate, and susceptibility to the pathogen.

beige (que incluye las clases comerciales bayo y azufrado) y 21% color de grano amarillo (clases comerciales garbancillo, canario, mostaza). La selección del color de la semilla además de su brillo, tamaño y forma, ha sido uno de los principales factores evolutivos responsables del mantenimiento y la ampliación de la variación genética en esta especie (Gepts y Debouck, 1991). La predominancia de las recolecciones con granos de color crema está relacionada con la popularidad de este color en el Altiplano de México, donde es posible encontrar esta clase comercial en las razas Durango y Jalisco. Aunque el color de la testa de las variedades silvestres se debe a la selección natural causada por el mimetismo de la semilla con el suelo para ser menos visible a los depredadores (Gepts y Debouck, 1991), durante la domesticación el hombre seleccionó genotipos de frijol adaptados a sus sistemas de producción y con color de grano preferente para satisfacer las necesidades de su consumo.

Los primeros cinco componentes principales del ACP explicaron 45% de la varianza total del germoplasma de la colección núcleo (Cuadro 2); este valor es bajo debido principalmente a la alta variabilidad morfoagronómica del germoplasma. Por ejemplo, Rosales-Serna *et al*. (2003) midieron 72 características en 120 variedades mejoradas de frijol e identificaron 14 variables que explicaron 60% de la variación fenotípica. De acuerdo con los criterios de Rojas (2003) se seleccionaron 13 variables (número de hojas simples, de vainas y de semillas por planta; color del hipócotilo, del cotiledón, de las alas y el estandarte de la flor; días a emisión del botón floral, a floración y a madurez fisiológica; ancho de hoja; altura de planta; hábito de crecimiento) con valores de proporción de varianza mayores a 0.60 y que mostraron el mayor poder discriminante (Cuadro 3). Ligarreto (2003) encontró que la mayor variabilidad se observó en el peso de 100 semillas; longitud de vainas y del ápice de las vainas; número de nudos y de vainas por planta; y época de madurez fisiológica en frijol común mesoamericano y andino con base en 23 descriptores cuantitativos en siete ambientes. Con los datos de esas 13 variables se realizó un segundo ACP y se observó que los primeros cinco componentes principales explicaron más de 87% de la varianza total y los primeros tres CPs 72% (Cuadro 4). Los vectores propios del CP1 indicaron que las variables con mayor peso fueron color del cotiledón y del hipocótilo; de alas y del estandarte de la flor; en el CP 2 lo fueron días a botón floral, a floración y a madurez fisiológica; y en el CP3 al número de vainas y de semillas por planta. Aunque los CPs 4 y 5 explicaron 9 y 7% de la variabilidad total del germoplasma, incluyeron las variables número de hojas simples, ancho de hoja y hábito de crecimiento de

Cuadro 2. Vectores propios y proporción de la varianza explicada en el análisis de componentes principales de 45 variables medidas en la colección núcleo de frijol del INIFAP.

Table 2. Typical vectors and variance proportion explained in the analysis of principal components of 45 variables measured in the INIFAP core collection of common bean.

Componentes principales	Vectores propios	Varianza total explicada	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
1	5.93	13	13
2	5.76	13	26
3	3.63	8	34
4	2.82	6	40
5	2.50	5	45

predominance of the collections with cream-colored grains is related to the popularity of this color on the Mexican high plain, where one can find this commercial class in the Durango and Jalisco races. Although the color of the wild variety testa is due to natural selection caused by seed mimesis with the soil, as to be less visible for predators (Gepts and Debouck, 1991), during domestication, man selected bean genotypes adapted to his production systems and with preferential grain color to satisfy his consumption needs.

The first five main components of ACP explained 45% of the total variance of the core collection germ plasm (Table 2); this value is low mainly due to the high morphoagronomic variability of the germ plasm. For example, Rosales-Serna *et al.* (2003) measured 72 characteristics in 120 improved bean varieties and identified 14 variables which explained 60% of the phenotypic variation. According to Rojas's criteria (2003), 13 variables were selected (number of simple leaves, pods, and seeds per plant; color of hypocotyl, of the cotyledon, of wings, and the banner of the flower; days to emission of flower bud, to flowering and to physiological maturity; leaf width; plant height; growth habit) with variance proportion values higher than 0.60 and showing the highest discriminating power (Table 3). Ligarreto (2003) found that the greatest variability was observed in 100 seeds weight, lenght of pod and of pod apex; number of nodes and of pods per plant; and stage of physiological maturity in Middle American and Andean common bean, based on 23 quantitative descriptors in seven environments. With the data of these 13 variables, a second ACP was carried out, and it was observed that the first five principal components explained more than 87% of total variance, and the first three CPs 72% (Table 4). The vectors typical of CP1 indicated that the variables with the highest weight were cotyledon and hypocotyl color, of flower wings and banner; in CP2, variables were days to flower

Cuadro 3. Correlaciones entre las variables originales y los cinco componentes principales, y proporción de la varianza explicada por cada variable original.
Table 3. Correlation between the original variables and the five principal components, and variance proportion explained by each original variable

Variable original	Componente principal					Proporción de la varianza
	1	2	3	4	5	
Color de la semilla	−0.50	−0.20	-0.01	0.11	−0.18	0.33
Color primario	−0.46	−0.36	-0.13	0.03	0.12	0.37
Color secundario	0.04	0.00	0.14	0.18	0.10	0.06
Brillo	0.34	0.06	0.29	−0.07	0.04	0.21
Forma de la semilla	−0.03	−0.16	-0.01	0.19	0.05	0.07
Latitud	0.48	0.24	-0.18	0.03	−0.33	0.43
Longitud	0.39	0.38	-0.11	0.03	−0.35	0.43
Altitud	−0.04	0.10	0.58	−0.15	−0.03	0.37
Días a emergencia	0.36	0.33	-0.34	0.05	0.47	0.58
Color del hipocótilo	0.66	0.50	0.24	−0.01	−0.07	0.75
Color del cotiledón	0.68	0.50	0.24	−0.02	−0.05	0.77
Hojas simples	0.36	0.35	−0.43	0.08	0.47	0.66
Color de follaje	−0.07	−0.07	0.35	−0.14	0.10	0.16
Días a botón floral	−0.32	0.55	−0.41	−0.26	0.17	0.67
Días a floración	−0.34	0.56	−0.41	−0.28	0.16	0.70
Color de alas	−0.57	−0.61	−0.22	−0.02	0.15	0.77
Color del estandarte	−0.55	−0.62	−0.19	−0.01	0.18	0.76
Color de vaina	−0.26	−0.05	−0.08	0.10	−0.17	0.12
Longitud de vaina	0.13	−0.24	0.29	−0.07	0.36	0.29
Sección de corte	0.45	−0.07	−0.16	0.14	−0.04	0.25
Curvatura de vaina	0.06	−0.41	0.16	−0.03	−0.06	0.20
Posición de pico	−0.14	−0.07	0.09	−0.17	0.05	0.06
Orientación de pico	0.22	−0.23	−0.05	−0.1	0.12	0.13
Días a madurez	−0.51	0.58	−0.07	−0.21	0.21	0.69
Vainas por planta	−0.17	0.16	0.04	0.86	0.03	0.80
Semillas por planta	−0.19	0.15	0.02	0.87	0.04	0.82
Ramas por planta	0.13	0.03	0.03	0.62	0.08	0.41
Nudos por planta	−0.48	0.53	0.09	−0.01	0.17	0.55
Hábito de crecimiento	−0.38	0.67	0.15	0.02	−0.08	0.62
Peso seco de raíz	−0.47	0.4	0.27	−0.09	0.21	0.51
Peso seco del vástago	−0.26	0.32	0.22	0.44	0.14	0.43
Relación raíz/vástago	−0.35	0.34	0.12	−0.31	0.11	0.36
Largo de hoja (cm)	−0.04	−0.46	0.33	0.02	0.52	0.59
Ancho de hoja (cm)	−0.02	−0.49	0.39	0.01	0.47	0.61
Altura de planta (cm)	−0.46	0.61	0.16	0.36	0.12	0.75
Peso 100 semillas (g)	0.42	0.18	0.54	−0.05	0.26	0.57
Volumen 100 semillas (mL)	0.42	0.14	0.52	−0.04	0.27	0.54
Absorción de agua (%)	0.44	−0.21	−0.26	0.01	0.34	0.42
Tiempo de cocción (%)	−0.27	0.20	−0.17	−0.10	−0.17	0.18
Reacción a antracnosis	0.21	−0.22	−0.17	0.01	−0.49	0.36
Reacción a roya	0.22	0.16	−0.51	0.21	0.14	0.40
Reacción a tizón de halo	0.34	−0.11	−0.54	0.06	0.29	0.51
Reacción a tizón común	0.38	−0.49	−0.21	0.11	0.08	0.45
Reacción a moho blanco	−0.19	−0.02	0.48	0.07	−0.29	0.36
Reacción a mancha angular	0.08	−0.39	0.20	0.10	−0.18	0.24

la planta, con los valores propios más altos del ACP (Cuadro 5).

Los tipos cultivados muestran marcadas diferencias fenotípicas con respecto a sus progenitores silvestres, lo que Hammer (1984) llamó síndrome de domesticación, cuyas características asociadas son la dormancia y los mecanismos de dispersión de la semilla; hábito de crecimiento; sensibilidad al fotoperíodo; distribución de

bud, to flowering, and to physiological maturity; and in CP3, the number of pods and of seeds per plant. Although CP's 4 and 5 explained 9 and 7% of the total germ plasm variability, they included the variables: number of simple leaves, leaf width, and growth habit of the plant, with the highest proper values of the ACP (Table 5).

The cultivated types show marked phenotypic differences with respect to their wild ancestors, which

Cuadro 4. Valores propios y proporción de la varianza explicada del análisis de los componentes principales de trece variables morfoagronómicas en frijol común.
Table 4. Proper values and explained variance proportion of the analysis of the principal components of thirteen morphoagronomic variables in common bean.

Componente principal	Valores propios	Varianza total explicada	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
1	4.02	31	31
2	3.1	24	55
3	2.18	17	72
4	1.11	09	81
5	0.9	07	88

Cuadro 5. Vectores propios de los primeros cinco componentes principales en la caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de frijol común del INIFAP.
Table 5. Proper vectors of the first five principal components in the morphoagronomic characterization of the INIFAP core collection of common bean.

Variable	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Hojas simples	−0.15	0.01	−0.06	0.72	−0.42
Color del hipocótilo	−0.41	−0.28	0.03	−0.1	−0.07
Color del cotiledón	−0.41	−0.29	0.02	−0.07	−0.08
Ancho de hoja (cm)	−0.18	0.4	−0.14	−0.16	0.02
Días a botón floral	−0.04	0.15	0.62	0.07	−0.19
Días a floración	−0.04	0.17	0.61	0.05	−0.17
Color de alas	−0.19	0.37	0.27	−0.14	0.16
Color estándar	0.44	0.22	−0.05	0.08	−0.02
Días a madurez	0.44	0.2	−0.04	0.07	−0.05
Vainas por planta	−0.22	0.39	−0.26	−0.07	−0.33
Semillas por planta	−0.22	0.39	−0.28	−0.07	−0.31
Altura de planta (cm)	0.18	-0.11	0.07	−0.63	−0.46
Hábito de crecimiento	−0.24	0.29	0.03	0.01	0.55

los fotoasimilados; gigantismo y color de las semillas (Schwanitz, 1966; Hawkes, 1983; Harlan, 1992). La diseminación de las plantas cultivadas de frijol de sus centros de domesticación a altas latitudes fue encabezada por la selección de genotipos adaptados a días largos, con resistencia a enfermedades y caracteres preferenciales por los agricultores y consumidores finales (Gepts, 2006). Los factores ambientales (variabilidad climática, interacciones bióticas, densidad intraespecífica) alteran la persistencia de poblaciones específicas. Por ello, es necesario estudiar la estructura espacio-temporal de la diversidad genética en *Phaseolus* para demostrar el flujo de genes entre poblaciones y su posible efecto restrictivo en poblaciones comerciales (Zizumbo-Villarreal *et al.*, 2005). La plasticidad fenotípica de las plantas tiene dos funciones principales en los cambios genéticos: cuando una población se establece en un nuevo ambiente, la plasticidad es esencial para que el genotipo persista y sobreviva (Baldwin. 1896); luego, la plasticidad responde a presiones de selección que permiten la evolución de las poblaciones (Pigliucci y Murren, 2003).

Las accesiones Ver-98, Ver-178, Ver-76, Pue-288 y Ver-165 fueron precoces a la floración (44 a 58 d) y a madurez fisiológica (80 a 120 d), así como tolerantes al tizón común. Las cuatro accesiones de Veracruz mostraron semilla de color negro, excepto Ver-165 que produjo semilla crema, mientras que Pue-288 presentó semilla blanca tipo alubia. En general, la mayoría de los frijoles con grano negro, bayo y azufrado fueron tardíos en el sitio de prueba; sin embargo, se identificaron accesiones interesantes dada su precocidad y, en algunos casos, tolerancia al tizón común. Entre los frijoles negros están las accesiones Chis-344, Chis-94 y Oax-37 con 50 d a floración y 110 d a madurez, así como una accesión con grano azufrado (BCN-8-A) con 55 d a floración y 80 d a madurez, y Ver-165 (bayo) con 58 d a floración y 112 d a madurez fisiológica.

Hammer (1984) called domestication syndrome, whose associated characteristics are dormancy and seed dispersion mechanisms; growth habit sensitivity to photoperiod; distribution of photoassimilates; giantism and color of the seeds (Schwanitz, 1966; Hawkes, 1983; Harlan, 1992). Spreading of cultivated bean plants from their domestication centers to high latitudes was headed by the selection of genotypes adapted to long days, with disease resistance and characteristics preferred by farmers and final consumers (Gepts, 2006). Environmental factors (climatic variability, biotic interactions, intraspecific density) affect the persistence of specific populations. Therefore, it is necessary to study the space-time structure of genetic diversity in *Phaseolus* in order to prove the gene flow among populations and its possible restrictive effect on commercial populations (Zizumbo-Villarreal *et al.,* 2005). The phenotypic plasticity of plants has two main functions in genetic changes: when a population establishes in a new environment, plasticity is essential for the genotype to persist and survive (Baldwin, 1896); further, plasticity responds to selection pressure which allows the evolution of populations (Pigliucci and Murren, 2003).

Accessions Ver-98, Ver-178, Ver-76, Pue-288, and Ver-165 were precocious to flowering (44 to 58 d) and to physiological maturity (80 to 120 d) as well as tolerant to common blast. The four Veracruz accessions had black seed, except Ver-165 that produce cream-color seed, whereas Pue-288 had white seed of haricot bean type. Generally, most of the black, cream-colored, and azufrado beans were late-ripening at the test site;

Con base en sus valores característicos en los CPs 2 y 4 del ACP, el germoplasma se separó de acuerdo con el hábito de crecimiento y se formaron cinco agrupamientos. Los Grupos 1 y 2 incluyeron germoplasma con hábitos de crecimiento III y IV; el Grupo 3 con hábito de crecimiento tipo II y III; el Grupo 4 con hábito de crecimiento tipo II y el Grupo 5, con hábito de crecimiento tipo I (Figura 1).

Con los datos de las trece características más importantes del ACP fueron calculadas las distancias euclidianas entre accesiones de acuerdo con su lugar de origen y fue elaborado el dendrograma correspondiente (Figura 2). Dos grupos importantes fueron formados; el Grupo A incluyó genotipos originarios de altitudes menores a 500 m y germoplasma del centro de México, que se comportan como tardíos al sembrarse en latitudes mayores a los 20° N y con grano claro. El Grupo B se dividió en dos sub-grupos: B_1 incluyó accesiones del centro de México, y B_2 del centro y norte del país. La separación del germoplasma en los diferentes grupos con base en el origen de la colecta se atribuye principalmente a los sistemas tradicionales de agricultura practicados en México, el manejo o sistema productivo, métodos de cosecha, criterio de

however, given their precociousness, interesting accessions were identified and, in some cases, tolerance to common blight. Among the black beans there are accessions Chis-344, Chis-94, and Oax-37 with 50 d to flowering and 110 d to maturity as well as one accession with azufrado grain (BCN-8-A) with 55 d to flowering and 80 d to maturity, and Ver-165 (cream-colored) with 58 d to flowering and 112 d to physiological maturity.

Based on their typical values in the CP's 2 and 4 of ACP, germ plasm was separated according to growth habit, and five groups were formed. Groups 1 and 2 included germ plasm with growth habits III and IV; Group 3 with growth habit type II and III; Group 4 with growth habit type II, and Group 5, with growth habit type I (Figure 1).

Euclidean distances among accessions were calculated based on the data of the thirteen most important ACP characteristics, according to their place of origin, and the corresponding dendogram was worked out (Figure 2). Two important groups were formed, Group A included genotypes from altitudes lower than 500 m and germ plasm from the center of México, behaving like late-ripening when sown in latitudes higher

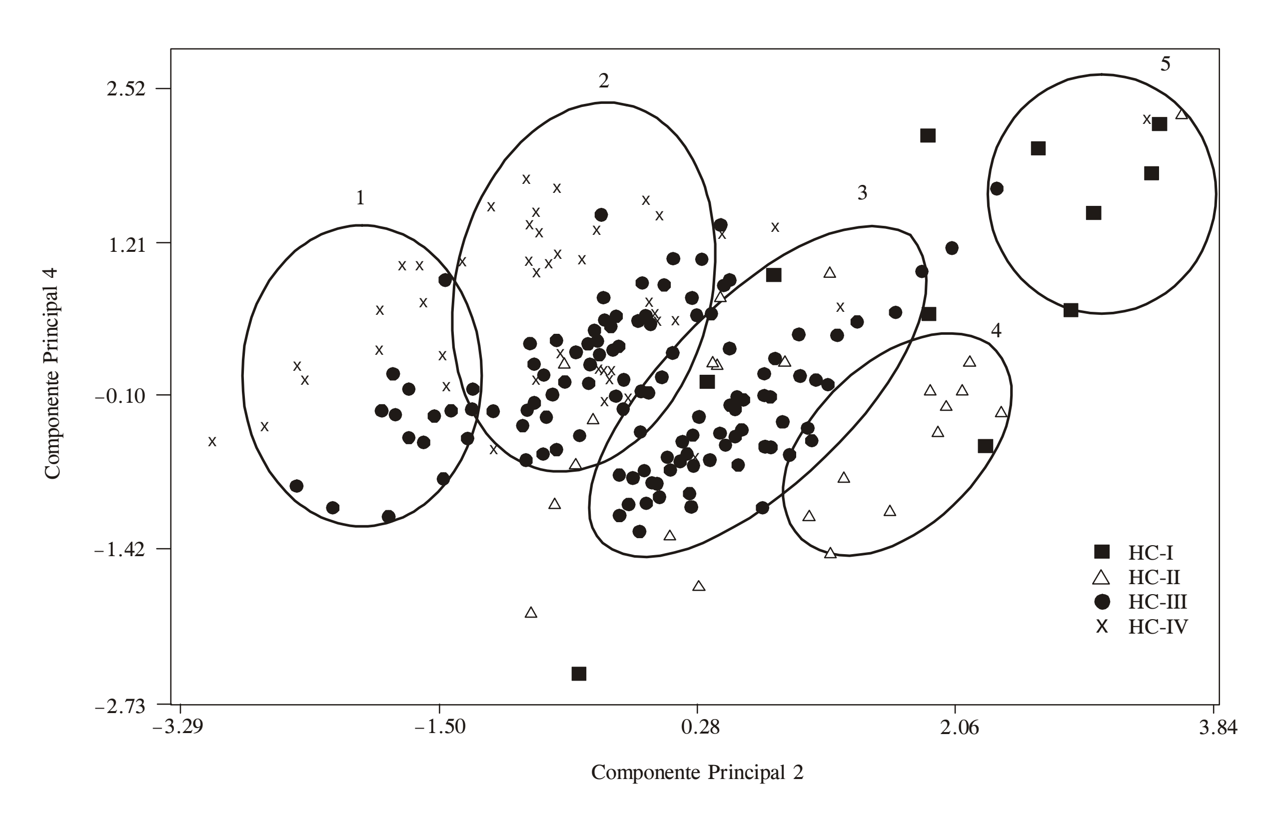


Figura 1. Gráfico de dispersión de cinco grupos de accesiones con base en su hábito de crecimiento (HC) de frijol común de la colección núcleo del INIFAP. Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México.

Figure 1. Graph of dispersion of five groups of accessions, based on their growth habit (HC) of the INIFAP core collection of common bean, Santa Lucía de Prías, Texcoco, State of México

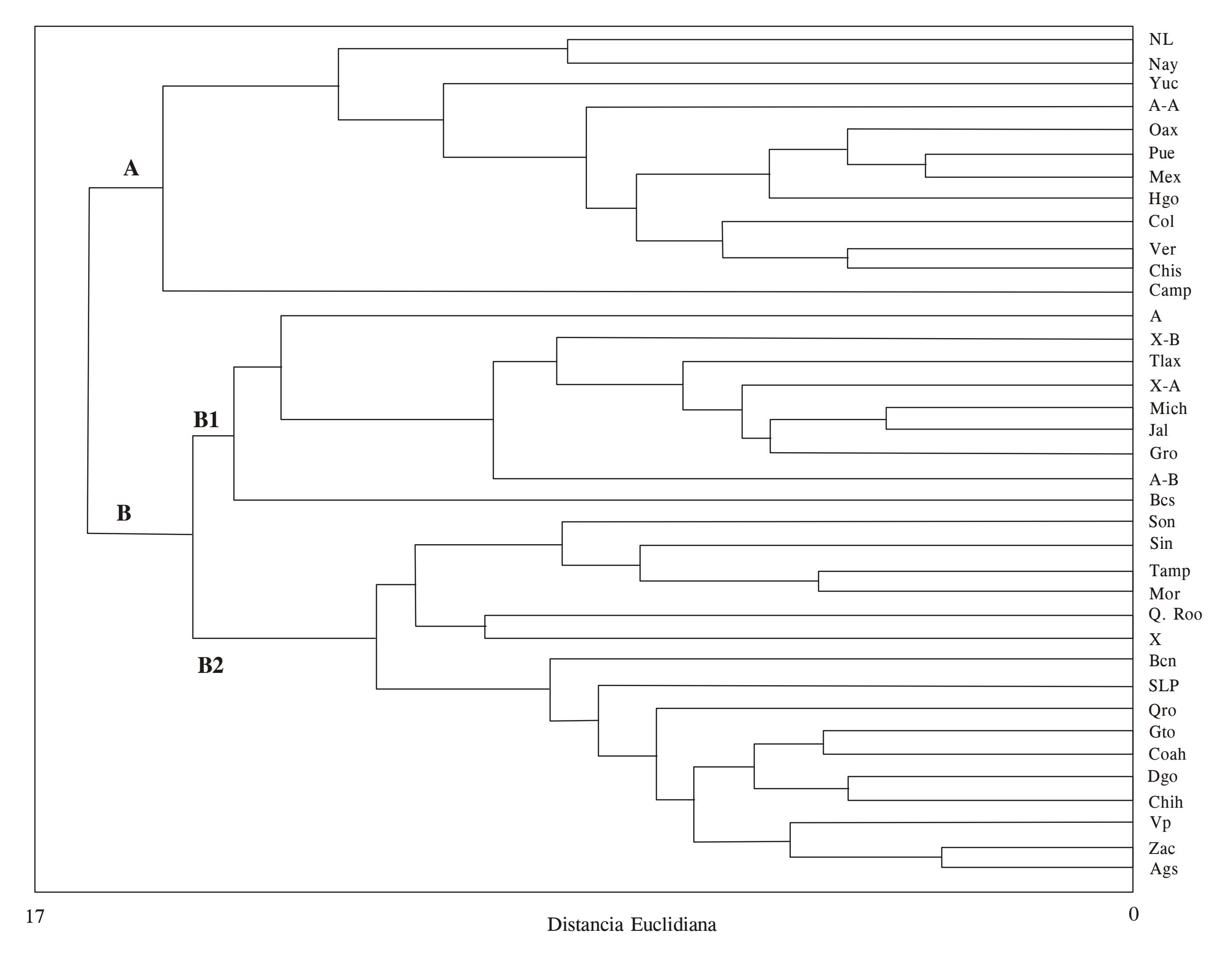


Figura 2. Dendrograma de distancias Euclidianas ponderadas por sitio de colecta en frijol común de la colección núcleo del INIFAP. Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México.

Figure 2. Dendogram of Euclidean distances weighted per collection site in common bean from INIFAP core collection. Santa Lucía de Prías, Texcoco, State of México

selección y hábitos de consumo de los agricultores. El hábito de crecimiento es un indicador variable entre genotipos y es también un indicador de la distribución geográfica del germoplasma de frijol asociado con la domesticación y el mejoramiento empírico realizado por los agricultores de acuerdo con sus preferencias de consumo (Zizumbo-Villarreal *et al*., 2005). Según López-Soto *et al*. (2005), las formas silvestres del frijol común (*P. vulgaris*) muestran un intervalo de adaptación menor que las domesticadas debido al manejo que los agricultores y fitomejoradores han realizado en la especie modificando características importantes de la planta, como la reducción del ciclo biológico, tolerancia a enfermedades y estructura de la planta. Esto ha permitido que las especies domesticadas se desarrollen en una mayor diversidad de ambientes.

La colección base de la forma cultivada de *P. vulgaris* del INIFAP representa la diversidad genética

than 20° N and with clear-colored grains. Group B was divided into two sub-groups, B_1 including accessions from the center of México, and B_2 from the center and north of the country. The separation of germ plasm in different groups, based on the origin of the harvest, is attributed mainly to the traditional farming systems, practiced in México, the management or the productive system, harvesting methods, selection criteria, and farmers' consumption habits. Growth habit is a variable indicator among genotypes and also an indicator of bean germ plasm geographical distribution associated to domestication and empiric breeding, carried out by farmers according to their consumption preferences (Zizumbo-Villarreal *et al.,* 2005). According to López-Soto *et al.* 2005), the wild forms of common bean (*P. vulgaris*) show a lower adaptation interval than the domesticated ones, due to the management carried out in the species by farmers and plant breeders, modifying

de la especie presente en la mayoría de las entidades federativas y regiones agro-ecológicas de México (Acosta *et al.*, 1991). No obstante, el Distrito Federal no está representado porque en su área rural no se ha recolectado frijol común. También se desconoce el origen geográfico de 391 accesiones de la colección base. La colección núcleo estudiada, generada a partir de la colección base, incluye germoplasma de frijol de la mayoría de los Estados de México, particularmente de aquellos cuyo territorio forma parte de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico (Cárdenas, 1989). En esas regiones la diversidad genética de *P. vulgaris* es amplia. Los Estados con mayor representación en la colección núcleo son Aguascalientes, Jalisco, Chiapas, Puebla y Zacatecas, con 48% de la colección núcleo. Los resultados de este trabajo enfatizan que la variabilidad genética es significativa en la especie y está incluida en la colección núcleo del INIFAP, por lo cual se considera representativa de la forma cultivada de *P. vulgaris* en México.

Conclusiones

De 45 variables morfoagronómicas, cinco explican en mayor porcentaje la variabilidad del germoplasma de la colección núcleo de frijol común del INIFAP, destacando los días a floración y el hábito de crecimiento, con las cuales es posible agrupar al germoplasma de acuerdo con su origen geográfico y hábito de crecimiento. Algunas accesiones de Veracruz muestran precocidad y tolerancia a enfermedades como el tizón común y pueden ser útiles en el mejoramiento genético del ciclo del frijol.

Literatura Citada

Acosta, G., J. A., J. S. Muruaga M., y F. Cárdenas R. 1991. Utilización y disponibilidad de recursos genéticos de *Phaseolus* en México. *In:* Ortega, R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. González H. y M. Livera M. (eds). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). México. pp: 187-196.

Acosta, G., J. A., J. S. Muruaga M., F. Cárdenas R., y M. M. Khairallah. 1996. Estrategias para la utilización de germoplasma de *Phaseolus* en el mejoramiento genético. Ciencia 47: 149-160.

Baldwin, J. M. 1896. A new factor in evolution. Am. Nat. 30: 441-451.

Balzarini M., G., L. Gonzalez, E. Tablada, F. Casanoves, J. Di Rienzo, y W. Robledo. 2004. InfoStat. Manual del Usuario. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. 318 p.

Cárdenas R., F. A. 1989. El banco de germoplasma de frijol en México. *In*: Memorias del Taller Internacional del Mejoramiento Genético en Frijol. Temas Actuales en Mejoramiento Genético de Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp: 45 -77.

Cárdenas R., F. A., J. S. Muruaga, y J. A. Acosta. 1996. Catálogo: Banco de Germoplasma de *Phaseolus* spp. del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, INIFAP. México. pp: 1-149.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. Schoonhoven A. van, y M. A. Pastor C. (comps). Cali, Colombia. 56 p.

Elías, L. G., S. A. García, y R. Bressani. 1986. Métodos para Establecer la Calidad Tecnológica y Nutricional del Frijol *Phaseolus vulgaris*. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. Guatemala, Guatemala. 42 p.

Frankel O. H., and A. H. D. Brown. 1984. Plant genetic resources today: A critical appraisal. *In:* Holden, J. W. H., and J. T. Williams (eds). Crop Genetic Resources: Conservation and Evaluation. Allen and Unwin. London. pp: 249-257.

important plant characteristics, such as reduction of the biological cycle, disease tolerance, and plant structure. This has allowed for domesticated species to develop in greater environmental diversity.

The INIFAP base collection of the cultivated form of *P. vulgaris* represents the genetic diversity of the species, present in most of the federal entities and agro-ecological regions of México (Acosta *et al.,* 1991). Nevertheless, the Federal District is not represented because in its rural area, common bean has not been harvested. The geographical origin of 391 accessions of the basic collection is unknown as well. The studied core collection generated from the basic collection includes bean germ plasm of most of the Mexican States, particularly those whose territory forms part of the Sierra Madre Occidental and the Eje Neovolcánico (Cárdenas, 1989). In these regions, genetic diversity of *P. vulgaris* is wide-spread. The States with the greatest representation in the core collection are Aguascalientes, Jalisco, Chiapas, Puebla, and Zacatecas, with 48% of the core collection. The results of this study emphasize that genetic variability is significant in the species and included in the INIFAP core collection; therefore, it is considered representative for the cultivated form of *P. vulgaris* in México.

Conclusions

Five out of the 45 morphoagronomic variables explain in higher percentage the germ plasm variability of the common bean core collection of INIFAP, highlighting days to flowering and growth habit, which make it possible to group germ plasm according to its geographical origin and growth habit. Some accessions from Veracruz show precociousness and tolerance to diseases like common blight and may be useful in genetic improvement of the bean cycle.

—End of the English version—

Gepts, P. 2006. Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. Crop Sci. 46: 2278-2292.

Gepts P., and D. Debouck. 1991. Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In:* Schoonhoven A. van, and O. Voysest (eds). Common Beans: Research for Crop Improvement. CAB International and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Wallingford, UK. 32 p.

González, A., A. Wong, A. Delgado, R. Papa, and P. Gepts. 2005. Assessment of inter simple sequence repeat markers to differentiate sympatric wild and domesticated populations of common bean. Crop Sci. 45: 606-615.

Hair J. F., R. F. Anderson, R. L. Tatum, and W. C. Black. 1992. Multivariate Data Analysis. 3rd ed. McMillan Pub. Co. New York. pp: 1001–1009.

Hammer, K. 1984. The domestication syndrome. Kulturpflanze 32: 11-34.

Harlan, J. R. 1992. Crops and Man. Am. Soc. Agron. Madison, USA. 295 p.

Hawkes, J. R. 1983. The Diversity of Crop Plants. Harvard Univ. Press, Cambridge, USA. 184 p.

IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). 1982. *Phaseolus vulgaris* Descriptors. Plant Production and Protection Division. FAO. Rome, Italy. 32 p.

Ligarreto, G. A. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma. Estudios de casos. Caso 2: Análisis de la variabilidad genética en frijol. *In:* Franco, T., y R. Hidalgo (eds). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín Técnico 8. IPGRI. Roma, Italia. pp: 40-49.

López-Soto, J. L., A. Ruíz C., J. J. Sánchez G., y R. Lépiz I. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. Rev. Fitotec. Mex. 28: 221-230.

Pigliucci, M., and C. J. Murren. 2003. Genetic assimilation and a possible evolutionary paradox: Can macroevolution sometimes be so fast as to pass us by?. Evolution 57: 1455-1464.

Rojas, W. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma. Estudios de casos. Caso 1: Análisis de la variabilidad genética en quinua. *In:* Franco, T., y R. Hidalgo (eds). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín Técnico 8. IPGRI. Roma, Italia. pp: 27-39.

Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, R. P. Durán-Durán, H. Guillén-Andrade, P. Pérez-Herrera, G. Esquivel-Esquivel, y J. S. Muruaga-Martínez. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Agric. Téc. Méx. 29: 11-24.

Rosales-Serna, R., S. Hernández-Delgado, M. González-Paz, J. A. Acosta-Gallegos, and N. Mayek-Pérez. 2005. Genetic relationships and diversity revealed by AFLP markers in Mexican common bean bred cultivars. Crop Sci. 45: 1951-1957.

Schwanitz, F. 1966. The Origin of Cultivated Plants. Harvard Univ. Press, Cambridge, USA. 175 p.

Singh S. P., P. Gepts, and D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 45: 379-396.

Van Hintum Th., J. L., A. H. D. Brown, C. Spillane, y T. Hodgkin. 2003. Colecciones Núcleo de Recursos Fitogenéticos. Boletín Técnico No. 3. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Roma, Italia. 43 p.

Vargas, M. L. P., J. S. Muruaga, J. A. Acosta, R. Navarrete, P. Pérez H., G. Esquivel, M. B. G. Irízar, y J. M. Hernández. 2006. Colección Núcleo de *Phaseolus vulgaris* L. del INIFAP. Catálogo de Accesiones de la Forma Domesticada. Libro Técnico Núm. 10. CEVAMEX-SAGARPA. Chapingo, México. 461 p.

Voysest, V. O. 2000. Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de Variedades de América Latina 1930–1999. CIAT, Cali, Colombia. 195 p.

Zizumbo-Villarreal D., P. Colunga García-Marín, C. E. Payró de la Cruz, P. Delgado-Valerio, and P. Gepts. 2005. Population structure and evolutionary dynamics of wild-weedy-domesticated complexes of common bean in a Mesoamerica Region. Crop Sci. 45: 1073-1083.